



TITLE:

技術パラダイムと技術軌道—情報 通信技術の帰趨—

AUTHOR(S):

大驛, 潤

CITATION:

大驛, 潤. 技術パラダイムと技術軌道—情報通信技術の帰趨—. 経済論叢
1997, 160(4): 62-85

ISSUE DATE:

1997-10

URL:

<https://doi.org/10.14989/45174>

RIGHT:

經濟論叢

第 160 卷 第 4 号

ケインズとボンド残高 (1) 岩 本 武 和 1

中国中央集権的計画經濟体制の形成と

第一次五カ年計画 (1) 李 軍 鋒 21

日本の短期金利決定メカニズム 中 川 竜 一 41

技術パラダイムと技術軌道 大 驛 潤 62

ホワイトカラー型労働組合主義の性格づけ 松 尾 孝 一 86

平成 9 年 10 月

京 都 大 学 經 済 學 會

技術パラダイムと技術軌道

——情報通信技術の帰趨——

大 驛 潤

本稿で検討の対象とするのは、G・ドーシの技術変化の経済理論の中で中核的な位置を占める「技術パラダイムと技術軌道」の概念である。一般的に、ドーシの業績という場合、1984年の『技術変化と産業の転換—理論と半導体産業への応用』で定義された動態的寡占価格決定モデルを指す場合が多い¹⁾。しかし、この概念はこの業績において突然現れたものではなく、その原型は早い時期から現れていた。だが、それは、必ずしも『技術変化と産業の転換』の中で定義されたような価格決定モデルにすぐに結びついたのではなく、Nelson=Winter [1982] の『経済変化の進化理論』²⁾やK・パヴィットの産業分類論との関係で、そこへの道のりは紆余曲折を経たものであった。そこで本稿では、Dosi [1982] “Technological Paradigms and Technological Trajectories” の概念に依拠しながら、技術パラダイムの方向について検討を加えることを目的とする。まず、第1節では、ドーシの問題意識を整理しながら「技術パラダイムと技術軌道」の理論骨格及び技術変化と産業構造の変容を説明し、

- 1) Dosi [1984] は、S・ラヴィッドと共通の考え方をしており、製品革新と模倣のタイムラグおよび学習の経済等を構造パラメータとする動態的寡占価格モデルを提示している。それは、P・シロス-ラビーニの参入阻止価格モデルの動態化として位置付けられ、寡占企業の拡張的行動と超過利潤の両立を強調したところにその特徴と貢献があるといえる。
- 2) Nelson=Winter [1982] は、累積的な技術変化は「単一の自然軌道 (natural trajectory)」に従うと説明した。これは、現在の研究は効果的な新技術を生むと同時に、将来の研究のための出発点を準備する、という考え方である。そして「自然変種 (natural variety)」という「隣接性 (neighborhood)」の概念を主張する。すなわち、ある有効なシステムが確立すると、変更を付加しようとしても些細なものに留まるというものである。これを「経路依存性 (path dependency)」という。経路依存性は技術には頻繁に見られる。

第2節では、均衡経済学との関連での産業構造の変容について考察する。第3節では「技術パラダイムと技術軌道」の概念に基づきながら、技術パラダイム論に関する新しいモデルとしてKauffman [1993] の「NKモデル」を提唱する。そして、最後の第4節では、前節までで得られた枠組みを、そこから改めて位置付ける。

I 技術パラダイムと技術軌道

ドーシの問題設定は、現代の経済発展と転換の基礎にある技術的諸問題とミクロ経済的推進力は何かということであり、技術変化に望ましい枠組と経済発展の範例に迫っていく。

技術に関するミクロ経済的な基礎は、比較的、研究されていないままにされているとして次の2点をあげている。

- (1) 技術変化は、経済発展の中心となる事実であると考えられているが、その決定要因に関して十分な研究がなされていないこと。
- (2) マクロ経済的な環境変化にとつての技術変化は、産業構造の変容と密接な関係になっていること。

このような視座からドーシはイノベーション過程と産業構造の変容との関連の現代的特性を問うている。①イノベーション過程は、一般にどのような基本的特性を有するのか。そこでは、技術変化の特徴が、一方では科学の発達との関連で、他方では市場過程との関連で捉え直される。②技術変化のパターンと産業構造の変容はどのように関係しているのか。イノベーション過程と産業構造の変容との関連の位相が問題とされる。そこでは、技術変化のパターンにより産業構造の変容が規定されていること、それ故にまた、産業構造は市場行動や市場成果を説明する独立要因を成すというよりも、それ自体が技術経路のパターンに依拠する内生要因であると提言している。

その前提として、需要プル仮説と科学技術プッシュ仮説に言及している。

現在、技術変化に関しては大きく区分して需要プルと科学技術プッシュとが

存在している³⁾。前者は、市場のシグナリング（需要の動向や相対的価格の変化等）を主要な規定因と考え、需要のパターンに対する反作用として技術変化がもたらされるとするものであり、後者は、科学の外生的関与と技術変化をある程度自律的な規定因と考え、技術変化は技術それ自体の論理によってもたらされるとするものである。しかし、これらに対しドーシは需要ブル仮説は、需要を事前に十分に予想することは困難であるという難点を持つゆえ、市場の変化に対する技術の反応は本質的に受動性を内包し、一つの技術的發展がなぜある時期に発生するのかとすることを説明し得ず、また科学技術ブッシュ仮説は、科学—技術—生産物という一方向性の関係だけを追うので技術変化の不確実な特徴を充分考慮し得ていない、それ故に、どちらも経済的環境と技術変化の方向との間の複雑な相互作用的關係を充分には明らかにしていないとする。それに対して、彼が展開する理論の中核をなすのは「技術パラダイムと技術軌道 (technological paradigms and technological trajectories)」という概念である⁴⁾。以下、概要を示す。

技術パラダイムと技術軌道の概念は、次に述べる技術変化に関する一つの基本認識を基盤として形成されている。それは、科学の発展過程に関して提唱されたT・クーンの「科学パラダイム」の議論からのアナロジーとして「技術パラダイム」というものを考えることが可能となるということである⁵⁾。Kuhn [1962]によれば、科学の進歩は一つのパラダイム (paradigm) が存続している間は確かに連続的、累積的である。しかし、いずれそのパラダイムに矛盾が

3) Rosenberg [1982] が、需要ブル仮説の代表者であるといえる。

4) 一般的に「パラダイム」とは、ギリシャ語でパターンを意味する「パラディグマ」に由来しており、科学の基礎となっている支配的な理論的枠組である。クーンに従えば大きく分けて2種類の意味があったとする。第1に特定の専門領域の研究者集団が共有する「専門母体 (disciplinary matrix)」と第2に研究者集団が共有する例題、ないし例題から学ばれる類似性把握能力を意味する。本稿では「対象」として「技術パラダイム」というタームを用いている。

5) 奥田 [1996] 196-197頁は、ドーシのこのアプローチに問題点を提示している。科学と技術の關係は科学が技術を「含意」し、技術が科学の発見を「応用」といった關係ではなく、むしろ対称的なものであるとする。科学と技術という2つの文化は互いに相手から文化的資源を引き出すけれどもそれぞれは独自の文化資源を持った活動であるとする。

生じて、新たなパラダイムにとって代られることになる。その変革と変革の間、すなわち一つのパラダイムが存在し、支配し続けている間の科学の進歩を、彼は「通常科学 (normal science)」と名付けた。この旧いパラダイムから新たなパラダイムへの転換が「科学革命 (scientific revolutions)」であるとしている。同様に、ドーシは、選ばれた技術的問題を、自然科学から導かれる選ばれた原理と選ばれた物的技術とに基づき解決するパターンと認識する⁶⁾。

そう認識すると、技術変化というものは総体的に(1)技術パラダイムの転換、(2)ある技術パラダイムに沿った技術変化(技術軌道)、として理解することが可能となるのである。

まず、ある技術の連続的変化は、一般的に、特定の技術軌道に沿って進行し、新たな技術パラダイムが登場したとき飛躍的に根底的イノベーションを経験することとなる。パラダイム転換は、科学の分野のみならず、技術の分野においても起こり得るし、むしろ、新たな技術パラダイムの登場は、経済システムと密接な連関を持っているといえる。ここでは、技術軌道は「ある技術パラダイム上での通常の問題解決活動、(つまり、技術変化)のパターンと方向性」と定義され⁷⁾、技術パラダイムは、「自然科学から引き出された選択された諸原理と選択された物的技術に基づく選択された技術的諸問題の解のモデルやパターン」と定義される⁸⁾。つまり、一定の科学的発展を前提として、その技術パラダイムが規定する多くのトレードオフの内からある技術軌道が選択され他が排斥されるというものである。

この概念によって(1)イノベーションにおける漸次的変化と根底的変化の両方が説明可能となる、(2)それにより規定される技術経路の変化によるある産業

6) Dosi [1982] pp. 147-62.

7) Dosi [1982] pp. 147-62による。これは、ネルソン＝ウインターの技術変化の自然軌道からの示唆による。

8) Dosi [1982] pp. 147-62。ネルソン＝ウインターは技術レジームがどのように形成されるのかを論じることはなかった。これを技術パラダイムとしてとりあげたのがドーシである。ドーシに対して、Malerba=Orsenigo [1993] は「知識ベースの特性」という技術レジームの特質を提示している。

の誕生プロセスから産業の成熟段階へのシフトが説明可能となる、とする。

また、技術パラダイムの概念の有効性として、ドーシは、技術分野において「否定的発見法 (negative heuristic)」と「肯定的発見法 (positive heuristic)」に類似する手法があり得るとする。まず、その否定的発見法と肯定的発見法を説明する。

否定的発見法と肯定的発見法は Lakatos [1978] の「科学的研究プログラム (scientific research programmes)」の考え方を構成する重要な発見法である。否定的発見法とは、研究プログラムの「中核 (hard core)」を研究従事者の方法論的決定によって反駁できないものとする。つまり、中核に対する方法論的・基礎的な懷疑や批判を禁止することにより、研究を推進する問題解決機構である。従って、科学的研究プログラムでは、中核は反証 (refutation) 及び修正されたりすることなく、この中核を包囲する「防御帯 (protective belt)」を成している「補助諸仮説」により反証から護られているということである。

他方、肯定的発見法とは、むしろ変則事例にとらわれずに、中核の特性に内在的に導かれながら、そこに含意されている諸仮定を具体化し、防御帯をより洗練されたものに仕上げていくような問題解決機構である。

従って、科学的研究プログラムにおいては、実質的かつ方法論的な「中核」となる命題と、諸仮説が K・ポPPER 的な挑戦と反駁にさらされている「防御帯」の間には明確な区別が存在する。この防御帯の広がりや密度により、その研究プログラムが前進的 (progressive) か退行的 (regressive) かを判断することが可能となる。

以上を踏まえ、ドーシは、技術パラダイムの転換が、技術開発のベクトルまたは排斥すべき技術変化のベクトルに関しての示唆を引き出すものであるとする。特定の技術がいちじるしく発展し、他の技術は排除されるか発展の方向の変更を迫られる。例えば、①人間・物質の輸送、②ある性質をもつ化合物の開発・生産、③電気信号のスイッチング・増幅等の技術は、ある技術パラダイムに従えば、一つの特定の技術が開発され、特定されることとなる。この例にお

いては、各々の特定の技術が①内燃機関、②石油化学、③半導体技術であるといえ、それらは、各々が第1次産業革命、第2次産業革命、第3次産業革命の基盤的技術となるものである。この技術パラダイムには、特定の技術に特化し他の代替技術を排除する排斥効果が内在しており、これにより、技術パラダイムの転換を通して、産業革命の段階規定をすることが可能となる。また各々の段階においては特定の産業技術体系が照応して存在することとなる。

その技術パラダイムに基づいて定義される技術軌道が、企業の革新活動を通じて産業構造の変容をもたらす過程を明確にしようとする場合、技術変化に関して3つの特徴を整理することが可能となる。

第1に、技術変化の学習の「累積性 (cumulateness)」である。ある技術パラダイムに基づく技術軌道に沿った進歩は偶然的ではなく学習累積的特性を持つ。それは技術進歩の現時点での最先端に位置しているものが次世代の技術変化においても先行するという傾向をもたらす⁹⁾。

第2に、技術変化の成果の「占有可能性 (appropriability)」である。ある程度まで技術変化の成果は新たな技術を生み出した経済主体に内部占有される。この技術の占有可能性が存在するから、技術変化の経済活動へのインセンティブが発生するのである。具体的には、特許権や意匠権といった技術開発成果の私的占有を保護する権利や制度がある。

第3に、「技術機会 (technological opportunity)」である。技術機会とは一般に、ある技術の潜在的な利用可能性の程度、あるいは研究開発資源を投入することにより利用可能となる潜在的なフロンティアの集合をいう。通常、単位費用の研究開発支出弾力性とする。それぞれの技術の分野によって技術変化の

9) 「学習累積性」を認知した最初の理論経済学者は、Arrow [1962] である。ドーシにおいては、K・アローの想定とは異なり実証研究に従って費用と累積的生産量との関係に反比例を想定している。又、マレルバ・オルセニエーゴは、この累積性に関して3つの要点を示す。第1に、企業において累積性が高いとはイノベーションの占有可能性が高いこと。第2に、占有可能性の条件が低くイノベーションに関わる知識ベースが、ある産業内の企業間に広く普及するならば、産業においては累積性が存在すること。第3に、累積性とは収穫逡増により特徴づけられる経済的環境を示していることである。

起こり得る余地は違う。

ドーシは、技術変化に関する3つの特徴の中で、3番目の技術機会がいかなる含意があるのか具体的に言及していない。しかし、技術機会の大きな分野ほど、産業構造の変容過程が技術変化の特性によって、強く規定されることになると思われる。

技術変化の「学習累積性」と「占有可能度」の特徴がもつ含意はそれだけではない。ドーシは、(1)技術パラダイムが転換したフェーズと、(2)確立された技術軌道上の通常の変化のフェーズ、の両者は異なり、それぞれに従った産業構造が存在しているという。

技術パラダイムが転換したフェーズでは、1880年～1920年代の米国自動車産業、19世紀末の電機産業、1950年代の半導体産業等をあげる。そこでの産業構造はJ・シュンペーター的なイノベーション企業の出現と高い倒産率により性格づけられ、相次ぐイノベーションにもとづき一時的寡占が起こる。その寡占的地位は主に①学習の経済、②企業間の革新、③模倣能力の差異、④早期市場参入に関連している。

しかし、次の技術軌道上の通常の変化のフェーズになると、技術軌道が占有可能度と強い学習累積性を示す場合には、いっそう安定的な寡占構造が進展してくる傾向がみえる。このフェーズでの寡占的地位は、最初の技術パラダイムが転換したフェーズの要因に加え、技術変化の学習累積性や静態的な規模の経済に立脚するより安定した参入障壁にも依拠する。この考察から、市場構造は独立の説明変数ではなく技術変化の特質と速さに依拠する内生変数としてアプローチしなければならないという視座が導かれるのである¹⁰⁾。

動態的な寡占的競争におけるドーシの概念は、通常言われている強い寡占を

10) Rosenberg [1982] をはじめとして、ここ10数年の間に、技術変化の理論的認識を企業の研究開発や純粋な科学研究と並んで製品の製造経験や使用経験に帰因させる部分も多いという考え方を重視する文献が少なからず見られるようになった。さらに、このような考え方がもっと広いコンテクストの中で Langlois [1986] などの「新しい制度派経済学 (new institutional economics)」の市場構造観の中核を占めようとしているということに留意しておくべきであろう。

一方的に強調するものではなく、動態的な寡占的競争に2つの要因を提示している。

- (1) イノベーション企業の超過利潤によって、他企業による製品模倣・新たな製品革新・資本に体化された新生産方法の普及等の競争要因
- (2) イノベーションの占有可能性・学習累積性・規模の経済性等の企業間非対称性を推し進める要因

ドーシは2つの相反する要因の相対的比率により、独占・寡占的地位が、1つの産業に恒久的寡占マージンを提供し得るか否かが決定され则认为る。

以上のように「技術パラダイムと技術軌道」という概念は「技術変化の断絶と連続の関係」を捉えるのに有効なのであり、またそのような技術の二位相において、特有なイノベーション優位に立脚する企業が、他企業に対して経済的支配力を増大させていく選択過程、つまり、技術変化のパターンと産業構造の変容との内的関連、そして、需要プル（市場シグナリング）と科学技術プッシュ（科学的活動・知識ベース）がそれぞれ異なる役割を果たすことを示唆するのである。それは、クーンによるパラダイムの概念の立場を堅持しつつ、I・ラカトシュの所説を取り入れたものといえよう。

II 技術変化と産業構造の変容

ドーシの概念を踏まえて、現代の新たな技術パラダイムを探る試みを進めてみる。そこから技術パラダイムについてのより深い考察と、将来のベクトルにつながるインプリケーションを引き出すことを目的とする。それには、経済はやがて、均衡状態にいたるという仮定である均衡経済学¹¹⁾の概念とドーシのような不均衡な過程の説明概念との双方を背景に考察する必要がある。

そこで、まず技術とは如何ように把握されてきたのかからはじめる。技術に

11) 相互依存関係をもつあらゆる市場において均衡が同時に成立しているという一般均衡理論 (general equilibrium theory) はL・ワルラスら新古典派のローザンヌ学派によってその基礎が確立され、1930年代以降にJ・ヒックス、P・サミュエルソンらの「消費者均衡理論」、K・アロー、G・ドブリューらの「競争均衡理論」へと発展した。

は各々の定義が与えられてきた。均衡経済学によると「資本と労働の能率係数で表されるものである」とする。一方、ドーシによると「直接に実用的、つまり、具体的な問題や装置と関連したもの、かつ、理論的な一群の知識であり、ノウハウや手法、一連の手段、成功や失敗の経験、そしてもちろん物理的な装置や器具」とされる¹²⁾。

均衡経済学は、生産関数あるいは投入算出行列の変化を用いて技術を表現する。これには、経済活動の中心が第2次産業にあるという基本的な仮定があり、そこでは生産の根源的要素を資本と労働に求め、これらの投入要素とこれによって生み出された所得との関係を考察していくという認識があった。この過程を数値化するのが生産関数、投入算出行列である。この考え方は、(1)企業の利潤最大化行動、(2)資本労働等生産要素間のスムーズな代替等が前提となっており、企業の利潤極大化の条件、すなわち実質的要素価格と限界生産力の均等の条件から要素価格のトレードオフの関係を導くことが可能であるとする。そこで、まずはじめに、この視座から技術についての考察を始める。

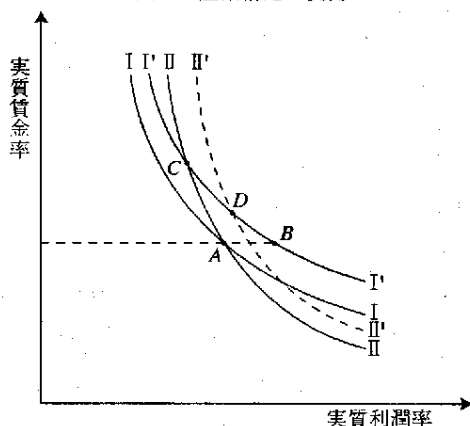
まず、技術変化の産業構造に与える影響を考えなければならない。新たな技術は、新商品を生み出し、新たな産業を興す。その結果、資本・労働等が新たな産業に移行することとなり、既存産業の内でも、最も効率の低い産業は衰退産業となって、徐々に消滅していく。つまり新たな技術は、新産業での資本・労働の需要を拡大して、各々の要素の価格を引き上げ、既存産業においてはコスト引き上げとなり、最も効率の悪い産業が衰退し、資源移動が起こることとなる。また、新たな技術によって生産要素や財貨の相対価格が変化し成長産業と衰退産業を生み出す。特に、技術変化により効率の高まる産業とのトレードオフ的な関係がある産業では、さらに大きな影響を受けることとなる。

この関係を要素価格フロンティア（資本利潤率と賃金率のトレードオフ曲線）で示すと、(図1)になる。技術変化が起こる以前の第Ⅰ産業と第Ⅱ産業

12) Dosi [1982] pp. 147-62.

のフロンティアを各々、ⅠⅠ、ⅡⅡとするならば、要素価格は両産業で同一となるので均衡点は両者の交点Aにある。

図1 産業構造の変化



技術変化により、ⅠⅠがⅠ'Ⅰ'に移行したとすれば短期的に均衡点はBに移動する。Bでの接線の傾きは小さくなり、第Ⅰ産業は雇用を増加させ生産拡大させようとする。一方、資本収益率（資本＝労働比率）は上昇するので、第Ⅰ産業に対する投資誘因は大きくなり資本ストック水準が上昇し、均衡点はフロンティアを北西方向に移動することとなる。一方、労働市場における賃金水準は上昇することになる。また、第Ⅱ産業では、賃金水準が上昇することによって、均衡点はフロンティアⅡⅡの上を北西方向に移動することになり、接線の傾きは大きくなるので、労働者を減じることとなる。同時に資本収益率は低下するので、資本に対する誘因は低下し、資本ストックは減少する。資本装備率は上昇するに従い、資本ストックが減少すれば、労働者の雇用はさらに減少する。

以上のように、第Ⅰ産業が拡大し第Ⅱ産業が縮小すれば、市場においては、第Ⅰ産業の要素価格は下降し、第Ⅱ産業の要素価格が上昇して相対価格に変化が生じ、フロンティアは再度、移行して、両産業での要素価格が均等になるD点で均衡することになる。しかしながら、この間、第Ⅰ産業は規模が拡大し、

第Ⅱ産業は衰退することになる。このように、技術変化により、当該産業が興隆するだけでなく、他産業の衰退も導くこととなる。

これまで、第Ⅰ産業と第Ⅱ産業という2つの産業は独立している関係にあると仮定してきたが、相互に関連する関係であるとするならば、これは、産業関連上の投入係数を変え、投入の組み合わせを変えることによって、産業が次のような簡単なモデルで示されるとしよう

$$X_{t+1} = AX_t \quad (1)$$

そうすれば、産業は行列Aの最大固有値に（フロベニウス根）の率で均斉成長することになる。すなわち、

$$X^*_{t+1} = \lambda X^*_t \quad (2)$$

（ただし、 λ はフロベニウス根、 X^* は固有ベクトル）

で示される。このパス上では、産業構造は不変のまま成長する。行列Aが、ある適当な条件を満たす場合、産業の経路はフロベニウス根に対応する固有ベクトル（フォン・ノイマン・レイ）に相対的に収束していくこととなる。

技術変化が起これば、行列の要素の値が変化することとなり、フォン・ノイマン・レイも変化する。この長期均衡上に、経済があり、均衡成長を継続していたときに技術変化が起これば、長期均衡から外れ、新たなフォン・ノイマン・レイに接近していく。このことは、結果として、第Ⅰ産業と第Ⅱ産業という二つの産業間に成長率のギャップを作ることになり、産業構造の変容を生み出すこととなる。ある産業に偏って技術変化が継続すれば、産業構造の変化は促進され、変化自体が恒常化することとなる。フォン・ノイマンにより描写されたような本来、線形な世界においては、生産・消費の変化のない安定的な状態での成長が存在する。これは、経済システムを安定均衡点上の存在と見て、媒介変数の変化に対応して均衡点がいかように変化するのか、安定体系であるための条件は何かといった問題に終始することになる。

この議論は、たしかに均衡点での存在条件や安定条件を他のプリミティブな条件から導くことでそのメカニズムをより明快なものとすることが可能である

が、生産が不可能な枯渇型資源が「制約」条件として存在する場合は、成長プロセスで資源の相対的な供給量とそこから創出される資本は変化する。又、技術変化と行動ルールの非線形的関係によって決定論的な経済でも経済が必ずしも収束せず、非周期的でランダムにふらつくことがあるという指摘がある。

確かに、従来は、第1次産業・第2次産業を中核とした技術を考えてきた。しかし、経済のソフト化の進行する中、第3次産業の比重が大きくなり、またハイテク技術が第1次産業・第2次産業だけでなく社会・経済システムのあらゆる側面における変化を引きおこし出して、動態的経済現象を明確に表現するには生産関数や投入算出行列による表現だけでは不適切なものとなってきた。もちろん、それだけで均衡経済学の有効性が失われるわけではない。重要なことは、個別の経済主体の活動を、現実の経済現象を模写している理論的体系の内 で統合させ、それに整合性を内包した説明を提供することである。つまり、均衡経済学を基礎として、それを一般化することで、動態的経済現象を生み出すシステムがより明確に見えてくるということである。技術変化のポイントが量産技術を中核に行われていた時代においては、均衡経済学の分析方法が有効に働くものと考えられるが、今日及び将来の技術変化を考察する時、「質」の問題を除外するわけにはいかない。すなわち、新技術は、より大量に、より安く製造するための技術というより、より高品質、より高機能なものを作る技術というものが主眼となってきているのである。第3次産業における、技術パラダイムに関しては、Freeman=Perez (1988) が「技術・経済パラダイムの転換」という用語を使ってその特徴を提示している¹³⁾。

C・フリーマンとC・ペレスは、光ファイバーと集積回路を軸に急速な技術変化が進行し、情報通信技術による情報の集積・融合・編集・創造・伝達の能

13) 詳しくは、Freeman=Perez (1988)・大淵 [1997a] を参照されたい。尚、フリーマン・ペレスのマクロ経済的視角には、技術パターンと産業との内的関連のミクロ的基礎づけが必要とされる。それを行っているのがドーソンである。新しい技術パラダイムの軸は「情報関連技術」だけではなく「環境関連技術」も関係してくると思われる。例えば、植田 [1996] 21頁によると、生産工程での汚染物質の発生が少ない技術としてのクリーナープロダクション (Cleaner Production) などが注目されているとし、将来の望ましい技術の概念であるとする。

力向上とコスト低下がもたらされていることに着目し「技術・経済パラダイムの転換」が進展しつつあるとする。つまり、このような情報通信技術は、情報集約度を高めて、(1)第2次産業（製造業）から第3次産業（広い意味でのサービス産業で運輸・通信・公益事業・金融・保険）への移行と、(2)事業形態の単一技術から多角的技術基盤へ移行の促進を通じて、広汎な領域に飛躍的な生産性上昇をもたらすポテンシャルを包摂しており、それは新しい技術パラダイムとしての要件を満たしているのであるとする。

このように提示される技術パラダイムの基底にはいかなる適正性が存在しているのかを明確にしていきたい¹⁴⁾。そのために、不均衡な過程の説明概念を基盤に模索する。ここではそのうち「技術の融合化」という側面に、注目して「複合的ネットワーク」という視座を新たな技術パラダイムにつなげる試みを進めてみたい。ここでいう「複合的ネットワーク」の概念は、広く捉え「緩やかに結合されたシステム」と理解する¹⁵⁾。

III 転換の方向

現在、起こりつつある新たな技術パラダイムは、フリーマンとベレスと同様、Mowery=Rosenberg [1989]によると、情報通信・新素材・バイオテクノロジー等の分野にみられるような境界領域研究や分野の融合化・複合化によってもたらされ、技術発展の多様化傾向が増幅している点に大きな特徴があるという。また、須藤 [1995] は、現在、規模の経済・範囲の経済から複合的ネットワークの経済にシフトしつつある側面が経済システムの構造の内には存在していると提唱している。これも、同じ動向の別表現であるといってよいであろう。両者の主張していることの本質は「複合的ネットワークによるシステム（緩や

14) 「適正性」が提起している視点は、単に技術的合理性から技術の適正性が問われるだけでなく、技術変化が経済、社会的進歩につながるという前提そのものを問い直すところから出発している。

15) 「複合的ネットワーク」という用語ならびにその含意については、須藤 [1995] 161-219頁を参照されたい。本稿では、概念に注目し「柔軟に結合されたシステム」として提示している。尚、この概念の使い方については、本人に確認済み。

かに結合されたシステム)」にあるように考えられる。それは、大規模で複雑なシステムが、相互にルースに結びついた小さな部分部分に分離しているということである。部分部分ではさしあたり少数の変数だけを基盤に行動できる。そして長い間に、複合的ネットワークの相互作用の効果が生まれてきて大きく変化していく。

このアプローチは、Day [1986] の最近の研究と基底でつながっている。R・デイは、非線形・非均衡の状態で生まれてくる動的秩序を統一的にとらえた。多くのフェーズの動態過程は、経済変化に関する再帰的な数理計画モデルに顕著であり、不均衡な発展に際しての、普通の費用最小化行動を基盤とした構造変化を内生的に理解・説明するものであるとする。それは、与えられた技術経済制度が不安定で、時の経過とともに変容する可能性があることを意味している。この不可逆的变化は、いわば構造的発展とでもいうべきものであり、その背景には非線形も部分では、線形になっているという局所的線形の仮定を置いたところにポイントがある。局所では、そこだけの変数で状態が決定する。そして、要素間の関連が強い大規模で複雑なシステムでは複合的ネットワークの要素間の相互作用を通じて大きく変化していく。このような局所的線形に留意することが重要となる。よって、経済システムを複雑なものとして理解・把握していく視点が必要となる¹⁶⁾。

技術パラダイム転換の中心となると推測される「情報関連技術」の核心は「複合的ネットワーク」にあるはずである。その技術の特徴は、要素技術の編集や技術融合化・複合化にある。このことを示すための数理モデルが、近年、論じられてきている。ここでの複合的ネットワーク（緩やかに結合されたシステム）のモデルとしてKauffman [1993] は「NKモデル」という概念を提

16) 吉田 [1996] 197-221頁は日本型経営システムを素材にして非均衡・非線形の考え方を解き、一種の生物学的なモデルを提示している。又、Haken [1983] は、要素の状態分布の動きをフォッカー=プランク方程式と表現し、要素間関係が強い場合、個々の要素が独自の動きを行うものの、それが作り出す場が逆に要素も支配するモデルを示す。ハーケンは、これを隷従原理と表現している。

示しておりNKモデルと技術変化との連関を説明することも可能であるとする。システムの最適化手法にはさまざまな方法があるが、NKモデルの最適問題とは、「ある与えられた条件のもとで、評価関数を最大（最低）にする最適解を求める問題」のことをいう。

[最適化問題]

- 評価関数 $f(X) \rightarrow$ 最大（最小）
- 拘束条件 $x \in S \subset X$

ここで、 X は基礎空間、 S は基礎空間の部分集合で許容領域を表し、 X または S が組合せ的構造を持つとき、この最適化問題を組合せ最適化問題とする。

システムに調整可能な媒介変数が含まれているとき、ある条件のもとでこれを制御することによって、システムを目標の状態に近づけることを考える。システム設計は制御対象がどのくらい目標の状態に近付いたかを定量化するために評価関数を設定する。

システム内部の機構や因果関係を把握するのが難しい場合、制御媒介変数をシステムの評価値から直接更新しなければならない。最適化アルゴリズムの1つに乱数探索法があり、乱数的な無指向性の媒介変数変更を行って、もとの異なる媒介変数をいくつか生成し、この中から評価の良い媒介変数を採用する。このプロセスを繰り返すことによって、システムの最適化を行う。NKモデルもこの乱数探索法の1つであるが、他の最適化アルゴリズムと大きく違う点は、1点探索ではなく、多点探索を行う点にある。また、この多くの点が個々のばらばらに更新していくのではなく、相互作用を行う点が特徴的である。多点探索を行っているので1点探索法より、多峰性の問題に強いということである。

そのNKモデルは「技術も生物の適合・進化と同様に拮抗する『制約』のもとでシステムを最適化する」ということであり、それはもともと遺伝子・因子 (genotype) の相互作用を論じるためのものであった。カウフマンは、ランダムに構築された遺伝子的ネットワークのふるまいに注目し、複雑な遺伝子回路のシステムがどのようにして安定的な機能を保持しているのかに興味を持った。

彼はある遺伝子が他の遺伝子の発現スイッチを on にしたり off にしたりしているという遺伝子スイッチングの機構論によって、遺伝子の活性を2進変数で示し、多数の要素が連結している遺伝子回路で、要素数がどのくらいであると意味ある特性が出現してくるかを数理モデルで示した。

遺伝子を技術（例えば、イス）に置き換えて以下のように説明する。

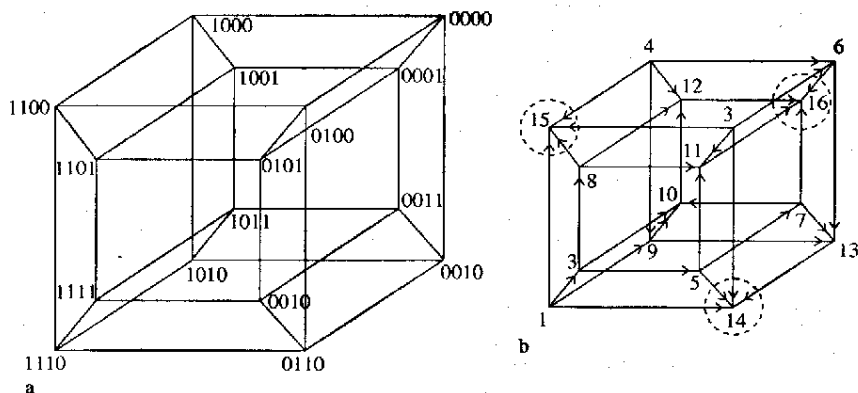
まず、第1に、前提として①肘掛、②足、③座、④背もたれの「状態」を考える。ここでいう「状態」とは、何によってシステムが構成されてるかということである。尚、NKモデルの「N」とは、システムの中の要素数を示し、このイスの場合は $N=4$ である。

ここでは「状態」をプラスチックか木という2つのみがあると仮定する。そして、これをプラスチックの場合は0、木の場合は1と設定する。すると①足、②座、③背もたれ、④肘掛は、各々0か1としての状態が存在するから、可能となるイスの種類は全部で、

$$2^4=16$$

よって、イスは16種類となる。

図2



それを、記号で示せば、

(0000), (0001), (0010) (1111).

の16種類。

ここで、(図2a)のようにこの16種類のイスを、属性空間としてブーリアン・ハイパーキューブ¹⁷⁾に配置する。これにはどの頂点から見ても、それと直接つながっている他の4つの頂点が「1つ異なっている」という図の特色がある。具体的には、右上隅の頂点に位置したイス(0000)は、状態が1つ異なる(0001), (0010), (0100), (1000)の4つとつながっている。

ここで「このイスは、他のイスと比較して優秀である」という「適合(fitness)」の順位付けをランダムに仮定する。最高を⑩、最低を①として各々のイスに①～⑩の順位をランダムにつける。それが(図2b)である。

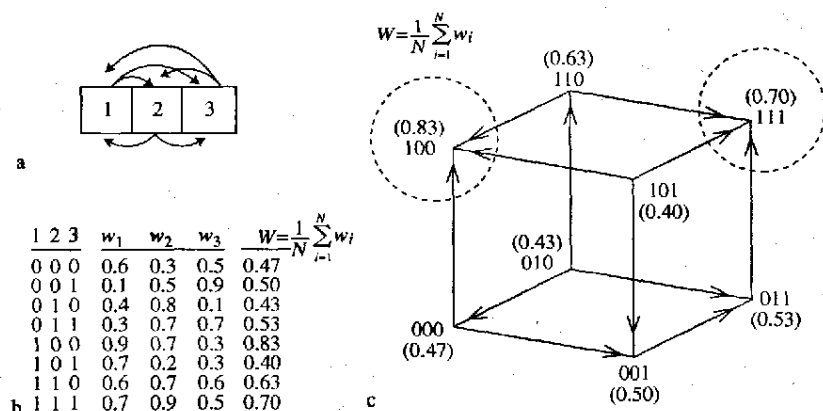
この図において、仮に①という順位を付けられた最低のイス(1110)があるとする。そこには、1つの要素の「状態」を変えることで、順位③, ⑨, ⑭, ⑮へステップアップする4つのベクトルが存在する(矢印は改良のベクトル)。他方、順位③のイスの場合、順位⑤, ⑧, ⑩へ、順位⑩のイスの場合は⑫へと1つ順位数が上がるに従い、改良へのベクトル数が減少していく。故に、順位⑭, ⑮のイスには、このカウフマンの理論的枠組の中では、もはや改良へのベクトルは存在しない。⑩は最良のイスだからもちろん0。それ以上、改良へのベクトルが存在しないような状態(○で囲んでいる図中の部分でここでは3箇所)をこの図における「局所的最適状態」とカウフマンの理論的枠組の中ではいう。

第2に、肘掛のない①足, ②座, ③背もたれ, の3つの要素(N=3)をもつイスを前提とする。そして新しく「K」, 「W」という値を導入する。この「K」とは、NKモデルの「K」であり、1つの要素による他の要素への相互作用の数を示し、「W」とは「適応度」のことである。イスの局所的最適状態

17) このシステムの名は、数理論理に対する代数的アプローチを考案した英国の数学者ブール(George Boole)にちなんだ。これは、ランダム結合のブルー式ネットワークである。

はそれらの要素の相互作用によって決定し、個々の構成要素間の局所的相互作用からシステム全体の最適状態が決定する。言い換えれば「全体は部分の総和ではない」という側面では、非線形現象の特性そのものである。

図 3



Kauffman, S. A. [1993] *The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution*, Oxford University Press, p. 42.

Kの最小値は0。0の場合、要素が完全独立しており相互作用しないことを示す。

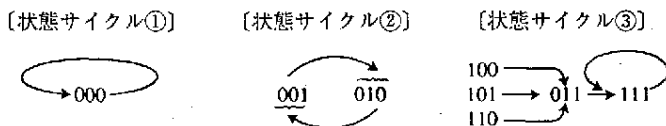
Kの最大値はN-1。(図3a)でこのイスの場合、 $3-1=2$ 、Kを最大値2にとる。

W_1, W_2, W_3 の値は、①足、②座、③背もたれ、が各々インタラクションをおこし、イス全体(大域的システム)の最適状態にどのように適応しているか、その適応度を0.0から0.1きざみに1.0まで表記したもので、適応度Wはランダム設定し、Wという「局所的適応度」は、 W_1, W_2, W_3 の3つの総和のアベレージで定義する。イス全体の最適状態の順位を(図3b)で表示しており、各要素は、他の要素によって調整されている。各変数が次の時間で、onになるかoffになるかは、ブーリアン関数という論理スイッチで決められている。

ブーリアン関数は、システムの2進(on/off)要素の他の2進要素からの入力信号の組合せに対する応対の仕方を与える理論規則である。ブーリアン理論をNKモデルにあてはめると、その要素間相互作用が予測可能となる。

ここでのNKモデルの構成要素は3であり、各要素は他の2つの要素から信号を受ける(図3a)。要素1は、ブーリアンAND関数に従い、要素2、要素3が共に事前にon状態であった場合に限り、on状態になる。要素2、要素3はOR関数に従い、他2要素の片方でもon状態であるならばon状態になる。すべての可能な初期状態の組合せを書き出せば、次の状態を指定でき、(図3b)となる。NKモデルにおける初期値は、(000) (001) (010) (100) (101) (110) (011) (111)と8つあるが、最終的には、(図4)で示すように、3つの状態サイクルの1つに落ちこんでしまう。仮に、すべての要素が初期にoff状態であれば、NKモデルの状態はずっと変化せず、仮に、要素2または要素3のみがon状態であるならば、システムは2つの状態間を往來する。他の初期値から始めた場合、すべての要素がon状態になりそのまま変化しない。このような条件の下、イスの適合の図を描くものが(図3c)である。N=3により、図は属性空間として3次元となる。尚、局所的最適状態の数は2になっている。

図4



この複合的ネットワークシステムのモデルとしてのNKモデルは、2つの場合に区分し、意味ある特質を示唆している。

(1) N個の要素から構成されているシステムの適応度が、各要素の適応度の総和で示され、各要素の適応度がそれ自体及び近傍を含めたK個の要素に依存している場合¹⁸⁾、

18) Kauffman [1993] pp. 45-46, pp. 66-67.

・ $K=N$, 又は, K が N に比例する場合, N が増加しても適応度は増加しない。

そのことを「複雑性の破局」という。次に, K が小さい値に固定されている場合は, N が増加するに比例して適応度は増加する。

(2)NKモデルからなるモデルが並列し, モデル同志の相互作用が媒介変数として付与され, 適応度が「(1)の場合の適応度」に相互作用からくる部分を付加するということになる場合¹⁹⁾,

・ $K=N-1$ で並列モデル同志の相互作用が強い場合, 1つの種の適応度が増加すると, 他の種は適応度を減じてしまう。次に K が小さく, 種同志の相互作用が弱いと, 1つの種の適応度が増加した場合, 他の種は平均値に留まる。

以上により, (1)からは, 多数の要素から構成されているシステムを作る場合, 各要素はそれ自体及び近傍という少ない数の要素としか直接, 相互作用していない時にシステムが最適状態となることが確認でき, (2)からは, 並列種のセットは種同志が緩やかに結合されている場合に, 大域的には適応度を増すということが理解できた。

IV 結 に か え て

NKモデルから導かれることは, 多くの要素が互いに関係しているシステムのダイナミクスを理解するには「多要素が相互に作用しつつ動的に変化するのをいかに捉えていくか」という視座が必要であるということである。技術及び経済学が対象としてきた分野でもこのような見方の必要性がNKモデルで認識された。

概要なことは, NKモデルの構成要素の相互作用によって最適化状態が規定される, つまり局所的な諸規則として各要素が, 受取る入力数とそれに反応する際の諸規則がシステムにおける大域的秩序を生み出しているということであり, それは, 拮抗する制約の中でシステムを「最適化」することは, 技術変化も生物進化も同様に考えることが可能であるということである。ドーシのいう

19) Kauffman [1993] pp. 46-47, pp. 66-67.

技術軌道の改良が行き止まりとなった時、新たな技術パラダイムの転換が不可欠であるという理解とカウフマンにおけるNKモデルの局所最適状態の行き止まり（少し進めば局所的最適状態に到達し、停止する状態が生まれ、局所的最適状態のベクトルへ歩を1つ進める毎に、道数は減少しシステム改善される可能性は小さくなり、大域的最適状態へ到達することは不可能となる）の理解は符号するものといえよう。両者とも構成要素間の相互作用によって、システム全体の性質が決まり、それがまた構成要素の相互作用に還元されるという構図であり、要素間の局所的な相互作用がシステム全体の様相を決めるという事実、システム全体の様相を変えていく条件が、システム内部からのフィードバックを介して自己組織的に発信されることを意味する。

このNKモデルのような「制約」の相対的な有限性の変化は、その持つ帰属価値をも変化させてしまう。その変化は、技術変化が新たな生産過程を選択の範囲に導入することと同様に考えることができる。結果的に経済全体、特に企業が従来とは違う枠組で特徴づけられる異なる経路にシフトする契機となるといえる。

もともと、経済は不均衡な過程であり、原初に安定した状態—循環フローを規定する理論はその点で問題もある。しかし、それだけで、その理論の重要性が減じるわけではない。技術は不均衡な経済に登場し、経済を機能させる構造を創発する。その活動が既存の経済システムを破壊することがあったとしても、それは経済進化の新しい段階へと続く次のステップである。その点では、システムを連綿と変化させる内生的な力を媒介するものとして技術変化を規定し、技術の社会的性質あるいは技術の内部構造が持つ特質を評価することの重要性を指摘したことは、ドーシの大いなる功績であるといえる。それは、長期的な経済発展に影響を及ぼす諸変数の1つが、新たな技術パラダイムの確立であるといえるということである。これにより、イノベーションが群生するのはなぜか、また、経済的影響が時間的に群生するのはなぜかが説明可能となる。ドーシの提唱しているように経済の不安定性の原因として、重要なものは内生

的なフェーズの「転換」である。生産における技術的プロセスは資源入手の可能性に「制約」されていながらも、エネルギーや資源そして「情報」を財・サービスに変換するための代替的な手段を提供すると考察できる。

たしかに、技術変化は制度化された経済学にとっては与件であるかもしれない。しかし、それが、経済に与える影響の中で、最も大きな要因であることは間違いない。今日新たな技術パラダイムの波が先進国、特に日本経済を覆いつけている時、その動向を経済の視点から捉えることなしに、現実との緊張関係を継続することはできない。技術パラダイムに関する理論も Kauffman [1993] の「NKモデル」で「技術変化と技術融合」を明確にすることによって、情報通信技術の方向に新しい進展があるものと期待される。技術融合を伴う情報通信技術のあり方がこれからの経済発展に多大な影響を及ぼすことは間違いないであろう²⁰⁾。その情報通信技術の経済的な利用方法を着実に推し進めていかなければならない。そのためには理論と現象の双方のベクトルに向け技術変化の過程の理解をさらに押し進めたい。

[付記] 本論文を作成するに当たり、株式会社ソニー・コンピューター・サイエンス研究所の渡滋氏より GA (Genetic Algorithms) 及びクラシファイアーシステムに関する資料を提供して頂いた。記してお礼を申し上げる。

参考文献

- Arrow, K. J. [1962] *The Economic Implications of Learning by Doing*, Review of Economic Studies.
- Day, R. H. [1986] "Disequilibrium Economic Dynamics", (in) Day, R. H. and Eliasson, G. [1986] *The Dynamics of Market Economies*, North-Holland and Publishing Company.
- Dosi, G. [1982] "Technological Paradigms and Technological Trajectories," *Research Policy*, vol. 11.
- Dosi, G. [1984] *Technical Change and Industrial Transformation*, Macmillan Press.

20) 情報関連技術の具体例は、大驛 [1997b] [1997c] [1997d], 須藤・大驛 [1998] 大驛 [1998] を参照のこと。

- Freeman, C. and C. Perez [1988] "Structural Crises of Adjustment", (in) Dosi et al. [1988] *Technical Change and Economic Theory*, Priete Publishers.
- Haken, H. [1983] *Advanced Synergetics*, Springer-Verlag GmbH & Co. KG. (斎藤信彦ほか訳 [1986] 『シナジェティクスの基礎』東海大学出版会)
- Kuhn, T. [1963] *The Structure of Science Revolutions*, University of Chicago Press. (中山茂訳 [1971] 『科学革命の構造』みすず書房)
- Kauffman, S. A. [1993] *The Origins of Order*, Oxford University Press.
- Krugman, P. [1996] *The Self-Organizing Economy*, Blackwell.
- Lakatos, I. [1978] *The Methodology of Science Research Programmes*, Cambridge University Press. (村上陽一郎ほか訳 [1986] 『方法の擁護』新曜社)
- Langlois, R. H. [1986] *Economics as a Process*, Cambridge University Press.
- Malerba, F. and L. Orsenigo [1993] "Technological Regimes and Firm Behavior," *Industrial and Corporate Change*, vol. 2, no. 1. (in) Dosi, G. and Malerba, F. [1996] *Organization and Strategy in the Evolution of the Enterprise*, Macmillan Press.
- Mowery, C. and N. Rosenberg [1989] *Technology and the Pursuit of Economic Growth*, Cambridge University Press.
- Nelson, R. R. and S. G. Winter [1982] *An Evolutionary Theory of Economic Change*, The Belknap Press of Harvard University Press.
- Rosenberg, N. [1982] *Inside the Black*, Cambridge University Press.
- 植田和弘・出口弘ほか編 [1996] 『新しい産業技術と社会システム』日科技連。
- 大驛 潤 [1997 a] 「技術・経済パラダイムの転換—情報テクノロジーの行方—」『京都大学経済論集』第12号, 京都大学経済論集編集委員会。
- 大驛 潤 [1997 b] 「システム間競争と需要構造」『東京大学社会情報研究所紀要』第54号, 東京大学社会情報研究所。
- 大驛 潤 [1997 c] 「標準化競争」第12回日本社会情報学会報告書。
- 大驛 潤 [1997 d] 「サイバー空間のコモン・ストック」第12回国際公共経済学会報告書。
- 大驛 潤 [1998] 『大に産・大失業時代』東京教育情報センター。
- 奥田 栄 [1996] 『科学技術の社会変容』日科技連。
- 金子邦彦・津田一郎 [1996] 『複雑系のカオスのシナリオ』朝倉書店。
- 児玉文雄 [1991] 『ハイテク技術のパラダイム』中央公論社。
- 佐和隆光 [1988] 『パラダイム・シフト技術経済』筑摩書房。
- 沢 富彦 [1986] 「非平衡下の経済法則」『数理科学』第227号, サイエンス社。
- 須藤 修 [1995] 『複合的ネットワーク社会』有斐閣。
- 須藤 修・大驛 潤ほか編 [1998] 『新しい暗号技術と情報セキュリティへの応用』東

京教育情報センター。

須藤 修・大驛 潤 (1998) 「ネットワークとNPO」『ネットワーク経済進化論』富士通ボックス。

増田祐司 (1996) 「社会経済システムの転換と情報化構造」富士通研究所・情報社会科学研究所編『第10回情報研シンポジウム報告書・社会経済システムの転換と情報化構造』富士通研究所・情報社会科学研究所。

山口昌哉 (1984) 「カオス (数理生態学に関連して)」『別冊・数理科学』サイエンス社。

吉田和男 (1996) 「解明日本型経営システム」東洋経済新報社。